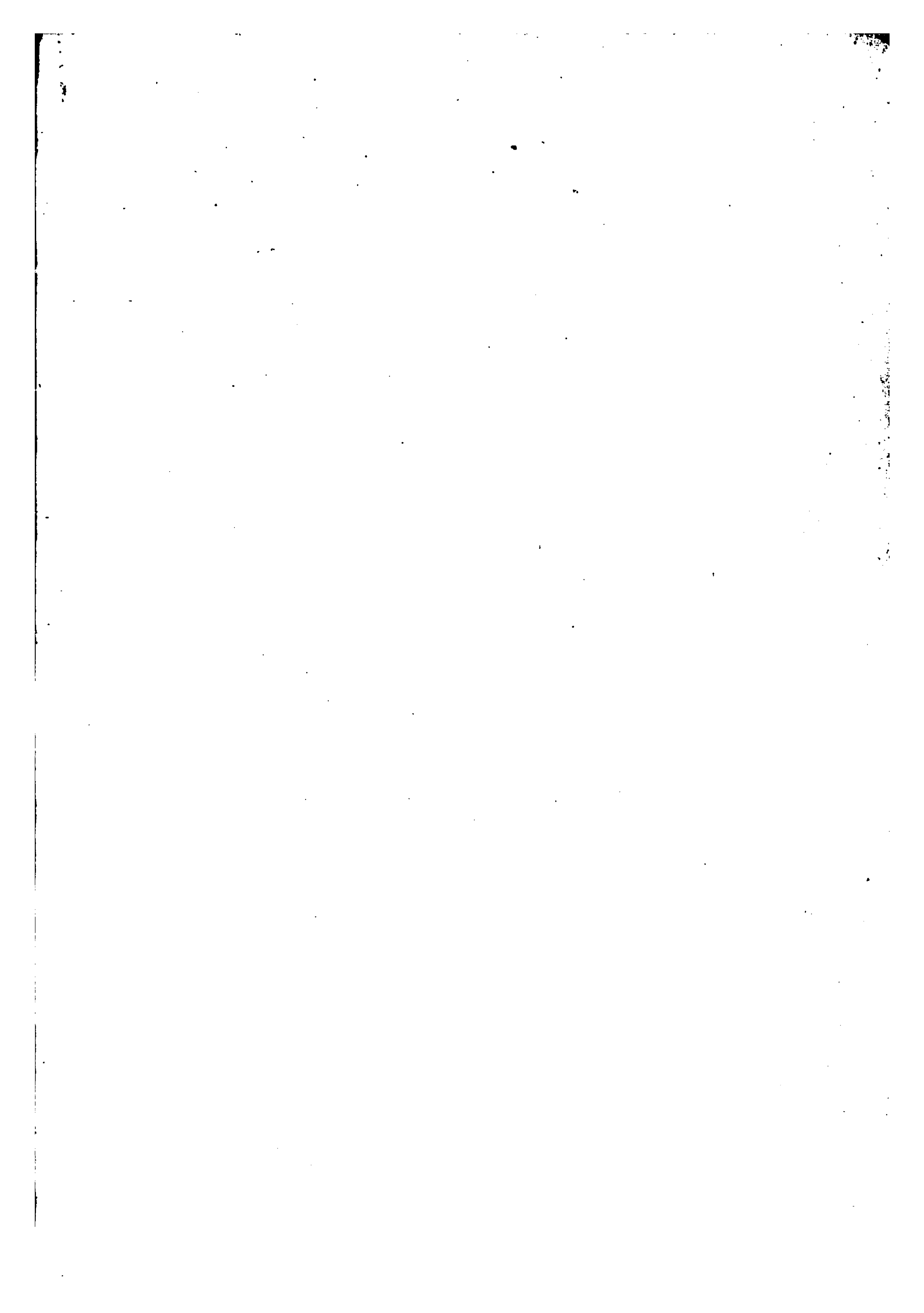


Die Mechanik
im
neunzehnten Jahrhundert.



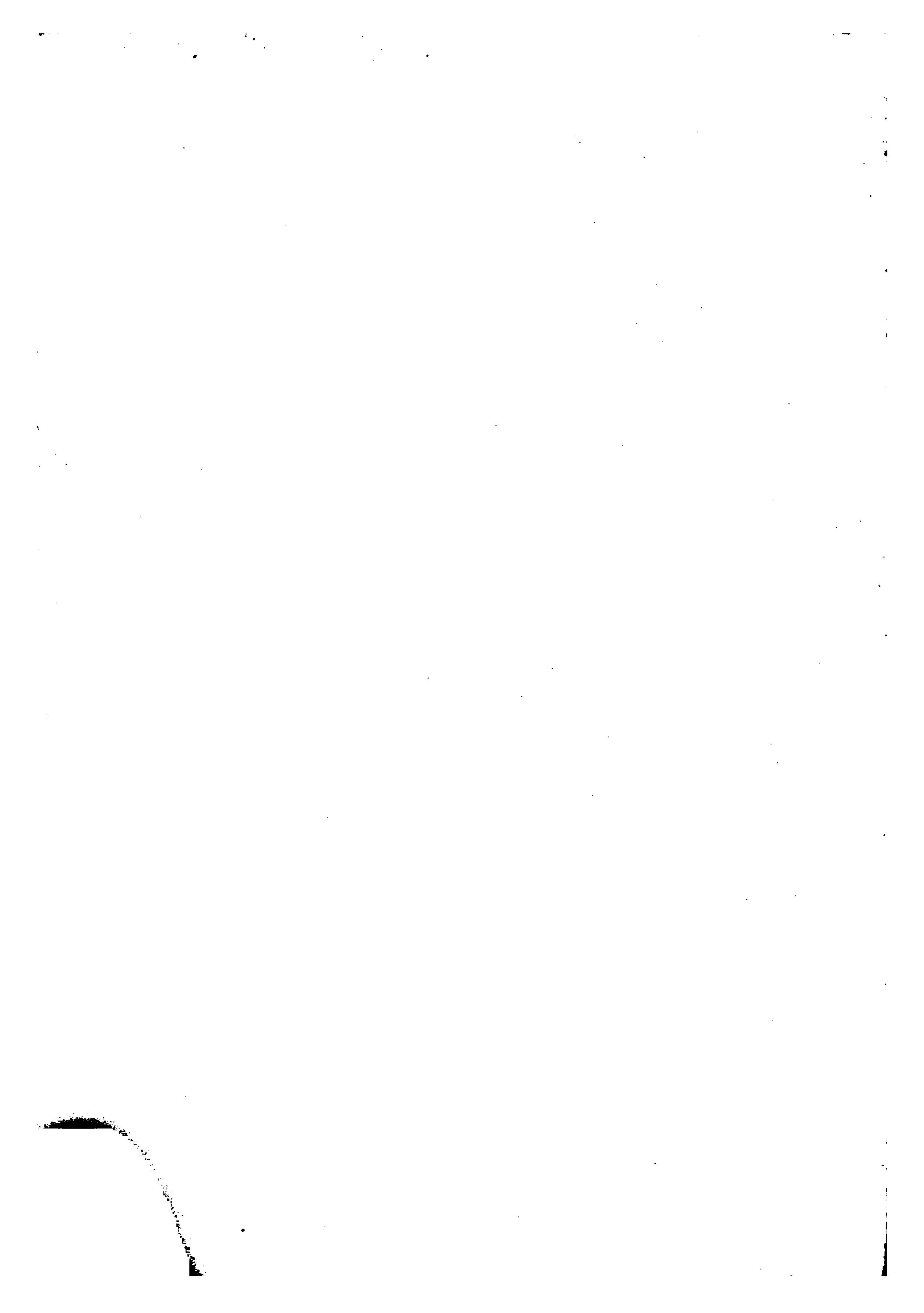
Ein akademischer Festvortrag,
gehalten in der Aula der k. techn. Hochschule in München
am 4. Dezember 1901.

Von

DR AUG. FÖPPL
ord. Professor an der Maschinen-Ingenieur-Abteilung der k. bayer. techn. Hochschule.

Zweite  **Auflage**

München 1902
Ernst Reinhardt, Verlagsbuchhandlung
Maximiliansplatz 3.



Vorwort.

Eine akademische Festrede, deren Gegenstand einer Fachwissenschaft entnommen ist und die doch für alle Hörer verständlich sein soll, darf sich bei den Einzelheiten nicht zu lange aufhalten. Ja, selbst für den Vertreter des gleichen Faches, der einmal in späteren Zeiten bei historischen Studien diese Blätter zur Hand nehmen sollte, um daraus zu erkennen, wie im Anfange des 20. Jahrhunderts einer seiner Fachgenossen über die grossen Fragen und Aufgaben seiner Wissenschaft gedacht hat, wird mit einer Darstellung aus grossen Gesichtspunkten ebenfalls mehr gedient sein, als mit einer Erörterung von Einzelheiten, die leicht aus Büchern entnommen werden können.

Meine Rede hat in dem erlesenen Kreise, vor dem sie gehalten wurde, auch bei den Vertretern von Wissenschaften, die der meinigen ganz fern stehen, beifällige Aufnahme gefunden. Ich entspreche daher gern dem Wunsche der Verlagshandlung, die Rede ausser in dem Jahresberichte unserer Hochschule auch noch in besonderem Abdrucke zu veröffentlichen. Das gesprochene Wort ist zwar immer eindrucksvoller, als das gedruckte; vielleicht findet der Vortrag aber auch in dieser Form bei manchem Leser wenigstens einen Teil des Beifalls, der ihm — wohl über Verdienst — von der Festversammlung gespendet wurde.

A. Föppl.

Die Mechanik im neunzehnten Jahrhundert.

Das neunzehnte Jahrhundert wird in der Geschichte der Naturwissenschaften und in der Geschichte der Technik auf alle Zeiten hinaus einen hervorragenden Platz behaupten. Manche Zweige der Naturwissenschaften sind im 19. Jahrhundert überhaupt erst entstanden; und auch bei den meisten der älteren Zweige stammt der grössere Teil ihres heutigen Lehrinhalts, sowohl dem Umfange, als der Bedeutung nach, ebenfalls aus dem letzten Jahrhundert.

Bei der Mechanik ist dies aber anders. Zwar hat auch ihr das 19. Jahrhundert manchen wichtigen Zuwachs gebracht. Von derart umstürzenden neuen Entdeckungen, wie sie in den anderen Zweigen der Physik und bei der Mehrzahl der übrigen Naturwissenschaften verzeichnet werden können, ist aber aus dem Gebiete der Mechanik nichts zu berichten.

Auf den ersten Blick mag es vielleicht scheinen, als wenn sich unter diesen Umständen ein Ueberblick über die Leistungen der Mechanik im abgelaufenen Jahrhundert weniger lohnend und weniger befriedigend gestalten müsse, als bei ihren Schwesterwissenschaften. Wir werden aber sehen, dass dies ein Irrtum wäre. Es liegt nämlich keineswegs an einer Vernachlässigung der Mechanik von Seiten der Forschung, dass die wissenschaftliche Ausbeute bei ihr nicht solche Glanzstücke umfasst, wie sie etwa bei der Elektrizitätslehre oder der Wärmelehre schon von Weitem her in die Augen fallen. Im Gegenteile: auch im neunzehnten Jahrhundert ist die Aufmerksamkeit vieler der hervorragendsten naturwissenschaftlichen Denker der Mechanik unausgesetzt zugewendet geblieben. Wenn sich nun trotzdem

in den Hauptgrundzügen der Mechanik gegenüber dem, was schon zu Anfang des Jahrhunderts vorlag, kaum etwas geändert hat, so liegt darin nur ein schlagender und sehr wertvoller Beweis für die gediegenen Leistungen der unmittelbar vorhergehenden Jahrhunderte. Eine wissenschaftliche Lehre, die einer solchen Summe kritischen Scharfsinns gegenüber, wie er im letzten Jahrhundert zu ihrer Prüfung aufgewendet wurde, in allen wesentlichen Stücken — aller Neuerungssucht zum Trotze — unerschüttert bleiben konnte, verdient schon aus diesem Grunde in besonderem Masse Beachtung und Vertrauen.

Wenn ich sagte, dass besondere Glanzstücke oder Entdeckungen im grossen Style bei der Mechanik für das neunzehnte Jahrhundert nicht verzeichnet werden können, so bedarf dies freilich noch einer näheren Erläuterung. Denn für die Abschätzung der Bedeutung, die irgend einem wissenschaftlichen Fortschritte einzuräumen ist, fehlt es durchaus an einem allgemein anerkannten Massstabe. Und selbst, wenn es möglich wäre, sich heute darüber zu einigen, welche Fortschritte als solche ersten, zweiten oder dritten Ranges anzusehen seien, dürften wir noch keineswegs sicher sein, dass dieselbe Art der Einschätzung auch noch für eine längere Zukunft aufrecht zu erhalten wäre. Manches von dem, was heute uns Allen gering dünkt, mag vielleicht späterhin als bedeutend erkannt werden, wenn sich zeigen sollte, dass daraus noch wichtige weitere Folgerungen gezogen werden können.

Immerhin wird man sagen dürfen, dass als ein Fortschritt ersten Ranges stets die Entdeckung völlig neuer Thatsachen gelten wird, die sich nicht als verwandt an bereits bekannte Beobachtungen anreihen lassen, sondern einen bis dahin ganz unerwarteten Kreis neuer Erfahrungen erschliessen. Fortschritte dieser Art bilden endgültige Bereicherungen der Wissenschaft: Erwerbungen, die durch keine spätere Entwickelung und durch keinen Wandel in den Anschauungen mehr in Frage gestellt werden können.

Mit ihnen allein ist aber der Kreis der grossen Ent-

deckungen noch keineswegs abgeschlossen. Auch ein wesentlicher Fortschritt in der theoretischen Erkenntnis, eine neue Einsicht in den inneren Zusammenhang zwischen im Einzelnen bereits bekannten Erfahrungsthatsachen, reiht sich oft genug ganz ebenbürtig an jene an. Denn erst dadurch, dass die verschiedenen Erfahrungsthatsachen zu einem einheitlichen Bilde verarbeitet werden, das sowohl dem Naturgeschehen, als dem menschlichen Verstandesgebrauche genau angepasst ist, werden sie uns ganz zu eigen. Erst die vollständige Uebersicht über ein grösseres Gebiet, die durch eine glücklich gewählte theoretische Fassung ermöglicht wird, sichert uns die geistige Beherrschung der Vorgänge, die sich in der Aussenwelt abspielen. Zudem giebt in der Regel jeder erhebliche Fortschritt in der Theorie die Richtschnur zur Auffindung neuer Beobachtungsthatsachen ab.

Darum sind theoretische Fortschritte dieser Art in allen Teilen der Naturwissenschaften von jeher mit Recht als grosse Entdeckungen betrachtet worden. Man braucht sich nur der Newton'schen Lehre von der allgemeinen Gravitation zu erinnern, um ein zur Mechanik gehöriges, glänzendes Beispiel für die weittragenden Folgen vor Augen zu haben, die ein wesentlicher Fortschritt der Theorie nach sich ziehen kann. — Freilich ist es bei Fortschritten der Theorie oft sehr schwierig, ihre Bedeutung richtig einzuschätzen, so lange sie noch nicht nach allen Seiten hin und seit langer Zeit erprobt sind.

Von den vier grossen Abschnitten, in die man die Physik einzuteilen pflegt, haben drei, nämlich die Elektrizitätslehre, die Lehre vom Lichte und die Lehre von der Wärme im vergangenen Jahrhundert sowohl Entdeckungen neuer Beobachtungsthatsachen von tief einschneidender Bedeutung, als theoretische Fortschritte im grossen Style zu verzeichnen gehabt. Nur die Mechanik, der älteste und best durchforschte Teil der Physik, darf sich solcher Erfolge ersten Ranges, wie ich sie vorher kennzeichnete — so weit heute unser Urteil reicht — nicht rühmen. Was bei ihr geleistet wurde, verdankt man

nicht glücklichen Funden und glanzvollen Entdeckungen, sondern einer unermüdlichen wissenschaftlichen Kleinarbeit, die einerseits auf eine bessere Begründung und Befestigung des von früher her übernommenen Lehrgebäudes, andererseits auf den stetigen weiteren Ausbau und auf die Nutzbarmachung dieses Besitzes gerichtet war.

Schon im Jahre 1828 sagte Gauss, als er das nach ihm benannte Prinzip des kleinsten Zwanges veröffentlichte:

„Bekanntlich verwandelt das Prinzip der virtuellen Ge-„schwindigkeiten die ganze Statik in eine mathematische Auf-„gabe und durch d'Alembert's Prinzip für die Dynamik ist „diese wiederum auf die Statik zurückgeführt. Es liegt „daher in der Natur der Sache, dass es kein neues Grund-„prinzip für die Bewegungs- und Gleichgewichtslehre geben „kann, das der Materie nach nicht in jenen beiden schon „enthalten und aus ihnen abzuleiten wäre. Inzwischen scheint „doch wegen dieses Umstandes noch nicht jedes neue Prinzip „wertlos zu werden. Es wird allezeit interessant und lehr-„reich bleiben, den Naturgesetzen einen neuen vorteilhaften „Gesichtspunkt abzugewinnen, sei es, dass man aus ihm diese „oder jene Aufgabe leichter auflösen könne oder dass sich „aus ihm eine besondere Angemessenheit offenbare.“

Und in dem Sinne, wie dieser Ausspruch gemeint war, dass nämlich ein wesentlicher Fortschritt der Theorie für jene Beobachtungsgebiete, die die Mechanik zu jener Zeit umfasste, nicht mehr in Aussicht genommen werden könne, hat Gauss seitdem ohne Zweifel Recht behalten. Nicht nur das von ihm selbst aufgestellte neue Prinzip, auch andere Arbeiten ähnlicher Art, die der weitere Verlauf des Jahrhunderts brachte, vermochten nichts wesentlich Neues mehr zu bieten, gegenüber dem, was schon als Erbgut von dem neunzehnten Jahrhundert übernommen worden war.

Und doch ist gar Vieles von Bedeutung und von bleibendem Werte, wenn auch im Einzelnen von bescheidenerem Range, auf dem Gebiete der Mechanik geleistet worden.

Schon die allgemeine Theorie hat nach manchen Richtungen hin eine sehr schätzenswerte weitere Ausgestaltung erfahren. Dahin gehört zunächst die genauere Untersuchung der Gesetze der Relativbewegung durch Coriolis. Hiermit wurde die Klärung einer der schwierigsten und tiefliegendsten Fragen der Mechanik eingeleitet, der Frage nach der absoluten Bewegung, eines Problems, in das sich die Mechanik mit der Philosophie teilt.

Von Wichtigkeit war ferner die Einführung des Begriffs der Kräftepaare durch Poinsot. Auch die von demselben Forscher gegebene geometrische Darstellung der Bewegung eines sich selbst überlassenen oder um einen festen Punkt drehbaren starren Körpers verdient Erwähnung.

Ferner giebt das von Hamilton aufgestellte und nach ihm benannte Prinzip eine einfach formulierte und sehr allgemein anwendbare Vorschrift für die Herleitung der Differentialgleichungen von Bewegungen zusammengesetzter Systeme an. Hinsichtlich seiner Bedeutung reiht es sich dem vorher schon erwähnten Gauss'schen Prinzipe an. Auch das Hertz'sche Prinzip der gradesten Bahnen, das aus dem letzten Jahrzehnt stammt, gehört in die gleiche Gruppe.

In methodischer Hinsicht bedeutet ferner die Einführung des graphischen Verfahrens, namentlich in die Statik, einen wichtigen Fortschritt. Wenn auch schon in den Zeiten der ersten Entwickelung unserer modernen Mechanik — schon von Galilei ab — geometrische Betrachtungen und Konstruktionen eine nicht unerhebliche Rolle gespielt hatten, so war doch gegen Ende des 18. Jahrhunderts die geometrische Methode in der Mechanik fast ganz ausser Gebrauch gekommen. Die zu jener Zeit von Monge zum grossen Teile neu geschaffene darstellende Geometrie und die späterhin folgende Neubelebung der synthetischen Geometrie haben dann den Boden für die graphische Behandlung der Statik geebnet. In den Händen der neu entstandenen technischen Mechanik hat sich diese Methode in der Folge — etwa von der Mitte des Jahrhunderts ab — für die Anwendungen überaus fruchtbar erwiesen.

Ein grosser und praktisch sehr wichtiger Abschnitt, der die Theorie der Schwingungsbewegungen umfasst, wurde im 19. Jahrhundert nach vielen Seiten hin weiter ausgebaut und zu einem hohen Grade der Vollendung gebracht.

Fast ganz verdankt man ferner dem neunzehnten Jahrhundert die Ausgestaltung eines praktisch ebenfalls sehr wichtigen Abschnitts, nämlich der Theorie der Elasticität und Festigkeit. Zwar hatte schon Galilei Betrachtungen über die Biegungsfestigkeit angestellt, die ihm, wenn sie auch in einem wesentlichen Punkte unzutreffend waren, doch schon manche zutreffende und auch für die Praxis wichtige Schlüsse zu ziehen gestatteten. Später hatten Bernoulli und Euler Untersuchungen über die elastische Linie durchgeführt, die ihren Platz in der Wissenschaft bis heute behauptet haben.

Aber trotzdem — und wenn sich auch noch manches Andere anführen liesse, was schon aus früheren Zeiten stammt —, so ist doch der weitaus überwiegende Teil des Lehrinhalts der heutigen Festigkeitslehre im 19. Jahrhundert zusammengebracht worden. Schon gleich im Anfange des Jahrhunderts wurde von Young der Begriff des Elasticitätsmoduls eingeführt und später folgten, um nur Einiges zu nennen, die allgemeinen Untersuchungen über den Spannungs- und den Formänderungszustand, die Aufstellung der Differentialgleichungen für das elastische Gleichgewicht, die Lösungen, die von de Saint-Vénant und Anderen von diesen Gleichungen für eine Reihe von wichtigen Fällen gegeben wurden, die Sätze von Castigliano und Vieles andere mehr.

Auch die experimentelle Erforschung der Festigkeitseigenschaften der praktisch wichtigsten Baustoffe im grossen Massstabe gehört fast ganz dem 19. Jahrhundert an. Unter der grossen Zahl erfolgreicher Arbeiter auf diesem Gebiete ziemt es sich an dieser Stelle, einen der bedeutendsten zu nennen: Johann Bauschinger, den ersten Professor der technischen Mechanik an unserer Hochschule, den Vorgänger in meinem Lehramte.

Der Hydrodynamik hat das 19. Jahrhundert ebenfalls eine Reihe wichtiger Fortschritte gebracht. Wo die Theorie versagte, wurde durch sorgfältige Versuche Manches festgestellt, was sich als Grundlage für spätere Arbeiten eignete. Die Theorie selbst wurde um viele Betrachtungen von mathematisch hoher Vollendung bereichert. Freilich wurde die Hauptaufgabe der Hydrodynamik, eine bis in die Einzelheiten möglichst genau mit der Wirklichkeit übereinstimmende Erklärung der Flüssigkeitsbewegungen zu geben, hierdurch nicht in demselben Verhältnisse gefördert, wie man es von dem grossen Aufwande an scharfsinniger theoretischer Arbeit hätte erwarten sollen. Auf diesem Gebiete dürfte der Zukunft noch manches zu thun übrig geblieben sein.

Im 19. Jahrhundert hat sich auch die Absonderung der technischen Mechanik als eines besondern Zweiges von der allgemeinen Mechanik vollzogen. Um zu erkennen, was dieser Schritt bedeutete, muss man beachten, dass die Mechanik von Anfang an bis auf die Zeiten Newton's hin niemals etwas Anderes, als eine technische Mechanik im heutigen Sinne des Wortes gewesen ist. Technische Aufgaben, namentlich das Heben schwerer Lasten, gaben schon im Altertume den ersten Anstoss zum Nachdenken über die Gleichgewichtsgesetze. Die Arbeiten von Archimedes und von Heron von Alexandrien, der beiden grössten Vertreter der Mechanik im Altertum, bewegten sich durchaus im Rahmen einer technischen Mechanik. Auch im 16. und 17. Jahrhundert unserer Zeitrechnung stehen bei den grundlegenden Untersuchungen von Galilei, von Stevin, von Huygens die technischen Anwendungen der vorgetragenen Lehren noch überall im Vordergrunde.

Dies änderte sich erst gegen das Ende des 17. Jahrhunderts durch die Arbeiten von Newton. Der grossartige Aufschwung, den die Mechanik in dieser Zeit und im 18. Jahrhundert erfuhr, war wesentlich an die Theorie der Bewegung der Himmelskörper geknüpft. Durch diese wichtige Erweiterung des Gültigkeitsbereichs der Mechanik wurde aber zu-

gleich der Boden für eine viel abstraktere, möglichst allgemein gültige Darstellung der mechanischen Gesetze vorbereitet. Zwar beschäftigten sich auch im 18. Jahrhundert die führenden Männer, vor Allen Euler, noch vielfach mit mechanischen Problemen, die sich unmittelbar auf technische Anwendungen bezogen. Der Zug der Zeit ging aber doch mehr und mehr auf eine möglichst umfassende mathematische Behandlung unter Hintansetzung aller Einzelfragen hinaus. Gegen Ende des 18. Jahrhunderts gewann mit dem Auftreten von Lagrange diese formale Richtung derart die Oberhand, dass die Mechanik fast nur noch als ein Bestandteil der Mathematik erschien.

Der Nachweis, dass es möglich war, den bis dahin zusammengebrachten Lehrinhalt der Mechanik den mathematischen Wissenschaften in so vollkommener Weise einzugliedern, war gewiss überaus wichtig und wertvoll und der beste Prüfstein für den logischen Aufbau der mechanischen Lehren. Andererseits brachte diese Wendung aber auch gewisse Gefahren mit sich: vor Allem die Gefahr, den bis dahin theoretisch formulierten Erfahrungsinhalt der Mechanik als abgeschlossen zu betrachten, Erscheinungen, die noch keine vollständige theoretische Formulierung gefunden hatten, zu vernachlässigen und nur noch auf die mathematische Weiterverarbeitung des theoretisch anerkannten Erfahrungsinhalts zu achten, ohne den Versuch zu machen, ihn weiter zu vervollständigen. Ausserdem verleitete auch die abstrakt-mathematische Auffassung der Mechanik dazu, selbst für solche Sätze, die allein aus der Erfahrung gewonnen waren und die nimmermehr durch blosse logische Deduktionen hätten gewonnen werden können, nachträglich eine Ableitung oder einen Beweis a priori, ohne Berufung auf die Erfahrung, zu versuchen. Diese Richtung drohte daher, einerseits die Mechanik ihrer ursprünglichen Aufgabe allmählich zu entfremden und andererseits durch ihre Scheinbeweise auch das Urteil über die Grenzen alles Naturerkennens, über die bedingte Gültigkeit aller theoretischen Schlüsse, so weit sie sich auf die Aussenwelt beziehen, zu trüben.

Da kam zur rechten Zeit, um eine ausschliesslich formale Weiterentwickelung der Mechanik zu verhüten, gegen Ende des 18. Jahrhunderts die Gründung der école polytechnique in Paris, der ältesten und ehrwürdigsten Pflanzstätte höheren technischen Wissens. Die grosse Zahl bedeutender Ingenieure, die bald darauf aus ihr hervorgingen, hat dann in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts, in Anknüpfung an die ältere Richtung der Mechanik, die heutige technische Mechanik begründet. Dass sich der neue Zweig dann so kräftig weiter entwickelte, hatte er dem Aufschwunge der gesamten Technik zu danken. Die Einführung der Eisenbahnen, die weitere Entwickelung und rasche Verbreitung der Dampfmaschinen, zahllose Verbesserungen in allen Zweigen des Maschinenwesens und der Bautechnik führten der Mechanik immer wieder neue Aufgaben, neue Erfahrungen und auch neue Anschauungen zu. Der Kampf mit den Naturgewalten, die Bemühungen zu ihrer Ueberwindung und Dienstbarmachung führten zu einem fortlaufenden Vergleiche der Beobachtungsthatsachen mit den theoretischen Folgerungen und aus den Anregungen, die daraus hervorgingen, ergab sich eine reich fliessende Erkenntnisquelle, die der rein theoretisch betriebenen Mechanik fehlte.

Wenn es auch im Einzelnen meist nur kleinere Beiträge gewesen sind, die auf diese Art zur Vermehrung unseres Wissens gewonnen wurden, so geben sie doch im Ganzen eine gar stattliche Summe ab. Einige, die an sich schon bedeutender sind, habe ich übrigens vorher schon bei der Aufzählung der Fortschritte der allgemeinen Mechanik erwähnt. Ein beträchtlicher Fortschritt, der auf dem Gebiete der technischen Mechanik gewonnen wird, kommt nämlich alsbald auch der allgemeinen Mechanik zu Gute und ist bei dieser aufzuführen.

Eine Ideenreihe, die ebenfalls ganz aus der technischen Mechanik hervorgegangen ist und die bei ihrer weiteren Entwickelung späterhin für die ganze Physik von der grössten Bedeutung wurde, muss aber hier doch noch besonders besprochen werden. Der Begriff der mechanischen Arbeit, der

als gemeinsames Mass aller Energiegrössen jetzt eine so hervorragende Rolle spielt, wurde zuerst von Coriolis und von Poncelet bei der Untersuchung der Arbeitsübertragung in den Maschinen im heutigen Sinne aufgestellt und benützt. Auch die Begriffe der Energieumwandlung, der Aufspeicherung der Energie in einem Schwungrade, der Energiewanderung finden sich in den Schriften dieser beiden berühmten Ingenieure, die noch in das erste Drittel des Jahrhunderts zurückreichen, in fast ganz moderner Form, wenn auch in Beschränkung auf das rein mechanische Gebiet, vor. Das Produkt aus Kraft und Weg, das wir mechanische Arbeit nennen, trat freilich schon viel früher in der Mechanik auf. Coriolis hat ihm aber nicht nur den bezeichnenden Namen der „mechanischen Arbeit" gegeben und eine allgemeinere Definition dafür aufgestellt; er hat auch die grossen Dienste nachgewiesen, die eine folgerichtige Verwendung dieses Begriffs, zunächst im Rahmen der Mechanik selbst, zu leisten vermag.

In dieser Leistung darf man wohl die wichtigste erblicken, die man der technischen Mechanik in dem ersten Jahrhundert verdankt, in dem sie selbständig, neben der allgemeinen Mechanik, in den Gang der wissenschaftlichen Entwickelung eingegriffen hat.

Man würde aber nur eine sehr unzureichende Vorstellung von der Rolle gewinnen, die die Mechanik bei den wissenschaftlichen Fortschritten des 19. Jahrhunderts gespielt hat, wenn man sich auf das beschränken wollte, was auf ihrem eigenen Gebiete geleistet wurde. Grösser noch in seinen Folgen war der Einfluss, den sie auf alle anderen Naturwissenschaften, ja selbst auf die Philosophie ausgeübt hat.

In der Mechanik war es, wie wir sahen, schon vor Beginn des Jahrhunderts gelungen, für weit umfassende Thatsachengebiete allgemein gültige und wohlbewährte Gesetzmässigkeiten aufzufinden, die sowohl hinsichtlich der logischen Anforderungen, die man an eine Theorie stellen muss, als hinsichtlich der Zuverlässigkeit der daraus gezogenen Folgerungen weit über

das hinausgingen, was in den anderen Teilen der Physik und in den übrigen Naturwissenschaften vorlag. Dadurch wurde die Mechanik zu einem Vorbilde für die gesamte theoretische Physik und weit darüber hinaus, bis in die biologischen Wissenschaften hinein. Man bestrebte sich, womöglich alle Naturvorgänge auf die mechanischen Gesetze zurückzuführen. Und wenn dies nicht angehen wollte, suchte man wenigstens, in Anlehnung an die Sätze der Mechanik durch passend angebrachte Erweiterungen und Ergänzungen eine Theorie der übrigen Naturerscheinungen oder gar des gesamten Naturganzen von ähnlicher Art zu schaffen, wie sie bei der Mechanik in den Grundzügen bereits vorlag. Mit Ausnahme der Chemie, die weniger davon berührt wurde, kann man gradezu sagen, dass die naturwissenschaftliche Arbeit des 19. Jahrhunderts vor Allem dadurch gekennzeichnet wird, dass sie unter der Herrschaft der aus der Mechanik übernommenen Ideen stand. Zuweilen ist man in dieser Richtung, wie wir noch sehen werden, freilich auch zu weit gegangen.

Um zunächst auf dem Gebiete der Physik zu bleiben, so war die Theorie der Elektrizität und des Magnetismus bis zum Auftreten von Faraday und Maxwell nichts weiter, als eine Mechanik hypothetischer Massen. Auch die Maxwell'sche Elektrizitätslehre ruht noch unmittelbar auf der Mechanik, wenn sie auch neue Vorstellungen hinzufügte, wie sie dem besonderen Gegenstande der Untersuchung angemessen waren. Ob die heute anerkannten wichtigsten Grundzüge der Elektrizitätslehre schon als endgültig feststehend zu betrachten sind, ist immerhin noch zweifelhaft. Wie sich die Elektrizitätslehre aber auch späterhin noch gestalten sollte, wir können kaum daran zweifeln, dass sie stets vom Geiste der Mechanik durchdrungen sein wird.

Auch die Theorie des Lichts bestand in ihren Hauptstücken den grössten Teil des Jahrhunderts hindurch in einer rein mechanischen Theorie der Schwingungen eines hypothetischen Mediums, des Lichtäthers, von dem man voraus-

setzte, dass er den Gesetzen der Mechanik unterworfen sei. Erst gegen Ende des Jahrhunderts wurde durch die entscheidenden Versuche von Hertz die Theorie des Lichts anscheinend endgültig in die Elektrizitätslehre eingereiht und damit ein völlig neuer Ausgangspunkt für sie gewonnen.

Die Theorie der Wärme endlich stand zwar im ersten Drittel des Jahrhunderts noch ganz unabhängig neben der Mechanik. Während des zweiten Drittels wurde sie aber eng mit ihr verknüpft. Auch hier galt es lange Zeit hindurch als das oberste Ziel, die Wärmelehre womöglich vollständig in der Mechanik aufgehen zu lassen. Eine der grössten Entdeckungen des Jahrhunderts, die Erkenntnis der Aequivalenz von Wärme und Arbeit, hat dazu am meisten beigetragen. Als die schönste Frucht dieser Bemühungen, die Wärmeerscheinungen auf mechanischem Wege zu erklären, ist die kinetische Theorie der Gase zu betrachten.

Andererseits zeigte freilich die Wärme manche Gesetzmässigkeiten, die ihr eigentümlich sind und die sich nicht ungezwungen und ungekünstelt in die Mechanik einfügen lassen wollten. Dahin gehören namentlich jene Erscheinungen, die in dem immer noch viel umstrittenen zweiten Hauptsatze der mechanischen Wärmetheorie zum Ausdrucke kommen. Heute geht daher das Streben der Forscher auf diesem Gebiete nicht mehr so sehr darauf hinaus, die Wärmeerscheinungen ausschliesslich vom Standpunkte der Mechanik zu erklären und zu begreifen, als vielmehr, in dem erweiterten Rahmen einer allgemeinen Energetik sowohl die Mechanik als die Wärme und hiermit zugleich eine Reihe von anderen physikalischen und chemischen Erscheinungen zu umfassen.

Durch Vermittelung der mechanischen Wärmethorie oder der Energetik, die der Chemie schon manche recht wichtige Dienste geleistet hat, ist nun auch eine, vorläufig freilich noch ziemlich lose, Beziehung zwischen der Mechanik und der Chemie geschaffen worden. Vielleicht ist es der Zukunft vorbehalten, diese Bande noch enger zu knüpfen.

Viel grösser war dagegen der Einfluss, den die Mechanik auf die biologischen Wissenschaften ausgeübt hat, die sich im 19. Jahrhundert in entschiedener Weise auf die physikalische Grundlage gestellt haben. Dies im Einzelnen weiter auszuführen, fühle ich mich freilich nicht berufen.

Die vielseitigen Erfolge bei der Uebertragung der mechanischen Gesetze auf andere Zweige der Naturwissenschaften begünstigten auch das Auftreten der materialistischen Philosophen des 19. Jahrhunderts. Bei ihren Betrachtungen stützten sie sich, abgesehen von der Darwin'schen Abstammungslehre, mit der wir es hier nicht zu thun haben, nicht zum wenigsten auf jene abstrakte Richtung der Mechanik, die auch solche Dinge a priori beweisen zu können vermeinte, die in Wirklichkeit nur eine Frucht der Beobachtung und der Erfahrung sind. Freilich für die Ausschreitungen dieser Richtung darf die Mechanik nicht verantwortlich gemacht werden.

So willkürlich aber auch die materialistischen Philosophen zuweilen bei der Ausmalung ihres Weltbildes verfuhren, den einen schätzenswerten Erfolg hatte ihre Lehre für die Mechanik zum mindesten, dass man sich im letzten Viertel des vergangenen Jahrhunderts auch in den ruhiger und unbefangener denkenden wissenschaftlichen Kreisen etwas genauer, als es früher geschehen war, auf die erkenntnis-theoretische Seite der Mechanik besann. Das Ergebnis dieses Nachdenkens, wie es sich in der heute, man kann wohl sagen, ganz allgemein herrschenden Auffassung widerspiegelt, ist freilich von jenem sehr verschieden, das sich die materialistischen Philosophen im kühnen Gedankenfluge zurecht gelegt hatten. Wo jene unumstösslich bewiesene und universell gültige Wahrheiten zu sehen glaubten, erblicken wir bei strenger Kritik nur Theorieen, die die vorhandenen Beobachtungen zu einem für die menschliche Einsicht fasslichen Bilde vereinigen und deren Zuverlässigkeit gerade nur so weit sicher verbürgt ist, als eine Bestätigung durch die Erfahrung vorliegt. Alles, was darüber hinaus geht, ist eine Sache des Glaubens, wie dieser nun auch

im Einzelnen gestaltet sein möge, aber kein Gegenstand sicheren Wissens. Ueber den Kreis möglicher Erfahrungen hinaus vermag überhaupt keine Naturwissenschaft zu reichen.

Selbst die überwiegende Rolle, die man der Mechanik bei der Erklärung der verschiedenartigsten Naturvorgänge fast während des ganzen 19. Jahrhunderts eingeräumt hat, wird in neuerer Zeit nicht mehr im gleichen Umfange anerkannt. Auf der Grundlage und mit Hilfe der Mechanik sind die anderen Zweige der Physik allmählich so weit erstarkt, dass sie nun ihren Forschungspfad auf eigenen Füssen weiter wandeln können, ohne dass sie sich dabei unausgesetzt der Krücken der Mechanik zu bedienen brauchten. Der geistvolle Wiener Philosoph Ernst Mach drückt dies im Schlusssatze seines Buches: „Die Mechanik in ihrer Entwickelung“ mit den Worten aus:

„Die Mechanik fasst nicht die Grundlage, auch nicht einen Teil der Welt, sondern eine Seite derselben.“

In letzter Linie besteht die Aufgabe jeder Wissenschaft und jeder Kunst darin, je nach ihrem Vermögen der Wohlfahrt des Menschen zu dienen: sei es nun durch die Pflege der sittlichen Eigenschaften und die Ermöglichung eines friedlichen Zusammmenlebens, sei es durch die Befriedigung des Schönheits- oder des Wahrheits- und Erkenntnisdranges, sei es durch eine Befreiung aus Leiden und Fesseln, denen der Mensch unterworfen ist, oder sei es durch eine Mehrung der Machtmittel und der materiellen Güter, über die das Menschengeschlecht verfügt.

Als vornehmste Aufgabe der Wissenschaft hat es freilich mit Recht von jeher gegolten, die geistigen Güter zu hüten, zu pflegen und zu mehren. Die führenden Völker unseres Erdballs müssten ihrer ganzen Vergangenheit untreu werden, wenn sie von dieser Art der Wertschätzung jemals abweichen wollten.

Damit ist aber nicht gesagt, dass jene Wissenschaften, die zugleich, wie die Mechanik, in hervorragender Weise materiellen Nutzen bringen, darum geringer zu achten seien, als jene, die

dem praktischen Leben ferner stehen. Ueber geistige Güter verfügen nicht die sogenannten Geisteswissenschaften allein, sie sind auch über alle anderen Wissenschaften in reichem Masse verteilt. Und es bedarf fürwahr nicht geringerer geistiger Gaben, eines nicht minderen Masses idealer Gesinnung und ächter Begeisterung für das zu erstrebende Ziel, um auf den Gebieten der Naturwissenschaften oder der technischen Wissenschaften Hervorragendes zu leisten, als bei irgend einer anderen Wissenschaft. Eine Wissenschaft zumal, wie die Mechanik, an deren Aufbau so viele der besten Denker seit Jahrhunderten gearbeitet haben, umfasst eine solche Fülle geistigen Inhalts, strenger Gedankenzucht und weit ausschauender Vorstellungsreihen, sie gewährt so vielseitige Anregungen und sie stellt so grosse Anforderungen an die höchsten Fähigkeiten des menschlichen Geistes, dass nur eine völlige Unkenntnis dessen, was sie will, kann und soll, zu einem absprechenden Urteile über ihre geistige Bedeutung verleiten könnte. Aus dem, was ich vorher über den Einfluss der Mechanik auf die wissenschaftlichen Fortschritte im 19. Jahrhundert ausführte, dürfte dies auch schon deutlich genug hervorgehen.

Von der anspruchsvollen Meinung einer weltabgewendeten Gelehrsamkeit, die in der Verfolgung praktischer Ziele eine Herabwürdigung der Wissenschaft erblickt, brauchen wir uns daher nicht beirren zu lassen. Für die Mechanik heisst es: das Eine thun und das Andere nicht lassen. Jeder Fortschritt nach der einen Seite kommt bei ihr mit der Zeit auch der anderen zu Gute.

Als eine der wichtigsten Seiten aus der Geschichte der Mechanik im 19. Jahrhundert müssen wir darum noch die wertvollen Dienste hervorheben, die sie als treue Gehilfin des Technikers dem wirtschaftlichen Fortschritt geleistet hat. Wenn ich vorher von dem Nutzen sprach, den die Mechanik aus der grossartigen Entwicklung der Technik für ihren Lehrinhalt gezogen hat, so ist damit doch erst die eine Seite des

wechselseitigen Verhältnisses berührt. Sie hat der praktischen Technik diesen Nutzen reichlich genug vergolten. Beide haben sich durch den unausgesetzten Austausch von Belehrung und Erfahrung gegenseitig gefördert. Ohne die von der Mechanik gebotene Grundlage hätte die praktische Technik nimmermehr auf die hohe Stufe gelangen können, die sie heute einnimmt.

Auf die Technik und daher zum Teile auch mit auf die Mechanik ist der fortschreitende materielle Wohlstand, der heute Tausenden die Möglichkeit zur Pflege aller Wissenschaften und schönen Künste bietet, wo früher kaum ebenso viel Hunderte sich ihnen widmen konnten, in erster Linie zurückzuführen. Durch die Verbesserung der materiellen Daseinsbedingungen, durch die Erleichterung jeder Art des Verkehrs, durch die Befreiung von grober körperlicher Arbeit, die in stets fortschreitendem Masse von den Maschinen übernommen wird, hat die Technik zugleich allen höheren geistigen Interessen die wichtigsten Dienste erwiesen, die leider nicht immer in der rechten Weise anerkannt und vergolten worden sind.

Wenn wir nun alles überblicken, so dürfen wir mit der Entwicklung, die die Mechanik im 19. Jahrhundert erfahren hat, recht wohl zufrieden sein. Waren ihr auch nicht solch' glänzende Erfolge beschieden, wie den anderen Zweigen der Physik, die in schneller, oft hastiger Entwicklung begriffen waren, so fordert bei der Mechanik die Festigkeit der Grundlagen, die ruhige Stetigkeit des Fortschreitens und die Zuverlässigkeit und verhältnismässige Vollständigkeit ihrer Lehren zur Bewunderung heraus. Auch die Prüfung, Bestätigung und Befestigung der von früheren Zeiten übernommenen Lehren ist eine wissenschaftliche Leistung, die um so höher eingeschätzt werden darf, je mehr in den Schwesterwissenschaften alles noch im Werden begriffen war, je schneller dort die Anschauungen wechselten und dabei immer von neuem wieder die Grundlagen in Frage stellten, die man eben noch für zuverlässig gehalten hatte.

An einen Rückblick in die Vergangenheit schliesst sich unwillkürlich ein Ausblick in die Zukunft. In müssige Vermutungen darüber, wie sich die Mechanik etwa später im einzelnen noch gestalten könnte, will ich mich dabei freilich nicht einlassen. Nur die eine Frage mag hier aufgeworfen werden: ob wir mit einiger Sicherheit darauf rechnen dürfen, dass die Mechanik auch in Zukunft stets auf denselben Bahnen weiter wandeln wird, wie im vergangenen Jahrhundert, und ob insbesondere das Zeitalter der grossen Entdeckungen auf dem Gebiete der Mechanik schon endgiltig vorüber ist? Vieles spricht dafür, diese Frage zu bejahen, vor allem die Erfahrung des vergangenen Jahrhunderts. Auch die vorher von mir angeführten Worte von Gauss, die sich schon seit mehr als 70 Jahren bewährt haben, könnten in diesem Sinne gedeutet werden.

Und doch glaube ich, dass vor einer solchen zuversichtlichen Auffassung entschieden gewarnt werden muss. Der Zeitraum selbst eines Jahrhunderts ist immerhin noch zu kurz, um daraus, dass in ihm keine entscheidende Wendung in den Grundzügen der Mechanik herbeigeführt werden konnte, den Schluss zu ziehen, dass eine solche überhaupt und für alle Zukunft ausgeschlossen sei. Auch die Worte von Gauss dürfen nur auf jenes Beobachtungs- und Thatsachenmaterial bezogen werden, das zu jener Zeit vorlag und das inzwischen auch bis auf den heutigen Tag keine tiefer einschneidenden Aenderungen erfahren hat. Auf dieser gegebenen Erfahrungsgrundlage erscheint freilich ein bedeutender Fortschritt in der Naturerkenntnis durch eine weitere Ausgestaltung der Theorie heute noch ebenso ausgeschlossen, wie schon zu den Zeiten von Gauss.

Ganz anders steht es aber mit der Frage, ob nicht noch neue Beobachtungsthatsachen gefunden werden könnten, die geeignet wären, eine ähnliche Bewegung in der Mechanik herbeizuführen, wie sie etwa die Entdeckung der Faraday'schen Induktionsgesetze in der Elektrizitätslehre oder die Entdeckung der Polarisation des Lichtes in der Optik bewirkt hat. Ich

würde es für sehr übereilt halten, wenn man diese Frage bestimmt verneinen wollte.

Richtig ist zwar, dass die Gesetze des Gleichgewichts und der Bewegung der wägbaren Körper weit offener zu Tage liegen, als die Gesetze aller anderen Teile der Physik und dass sich darum seither schon kaum etwas davon der unausgesetzten Forscherarbeit entziehen konnte. Ein wesentlicher Umstand, der uns bisher ganz verborgen geblieben sein sollte, kann daher sicher nicht auf der Oberfläche liegen und wird auch in Zukunft mit den bisher bekannten und gewöhnlich gebrauchten Mitteln kaum zu entdecken sein.

Andererseits kennt man aber in der That auch heute schon gewisse geringfügige Abweichungen von dem, was nach den überlieferten Anschauungen zu erwarten wäre. Das merkwürdigste Beispiel dafür bilden zur Zeit ohne Zweifel die auffälligen Beobachtungsergebnisse Landolt's, die von Heydweiller im laufenden Jahre nachgeprüft und bestätigt wurden. Wenn sich wirklich weiterhin zeigen sollte, dass man es hier mit völlig neuen Beobachtungsthatsachen zu thun hat, die sich nicht auf anderweitig schon bekannte Erscheinungen zurückführen lassen, so würden wir hier vielleicht vor einer Entdeckung ersten Ranges stehen, wie sie das ganze 19. Jahrhundert auf dem Gebiete der Mechanik nicht aufzuweisen vermag. — Der heutigen Chemie und der heutigen Mechanik ist nämlich der Grundsatz gemeinsam, dass das Gewicht einer bestimmten Stoffmenge durch chemische Umsetzungen nicht geändert werden könne. Dem widerstreiten nun die genauen Wägungen der genannten Forscher. Die Gewichtsänderungen, die sie nach chemischen Umsetzungen festzustellen vermochten, bezifferten sich freilich nur auf Bruchteile von Millionsteln des ursprünglichen Gewichts. Unter der Voraussetzung, dass es sich dabei wirklich um eine wesentlich neue Beobachtungsthatsache handeln sollte und nicht etwa um unerkannt gebliebene Fehlerquellen, würde aber die Geringfügigkeit der beobachteten Wirkung durchaus keinen Hinderungsgrund für

sehr tiefgreifende Folgerungen bilden, die daran noch geknüpft werden könnten. Es liegt namentlich auf der Hand, dass hieraus leicht engere Beziehungen zwischen der Mechanik und der Chemie hervorwachsen könnten, die vorher Niemand zu ahnen vermochte.

Ein anderes Beispiel bilden die Einwendungen, die man heute in der Astronomie mit guten Gründen gegen die strenge Gültigkeit des Newton'schen Gravitationsgesetzes erhebt. Sobald einmal die neueren verfeinerten Beobachtungen der Bewegungen am Sternenhimmel zu einer bestimmten Entscheidung darüber führen sollten, welche Aenderungen am Newton'schen Gesetze vorzunehmen seien, müsste man wohl auch eine erhebliche Rückwirkung auf die Grundlagen der Mechanik als möglich in Aussicht nehmen. Denn das Lehrgebäude der Mechanik ist in so enger Anlehnung an die Erklärung der astronomischen Beobachtungen aufgeführt worden, dass es von jeder Aenderung, die sich hierin vollziehen sollte, empfindlich berührt werden muss.

Es mag auch sein, dass die neuerdings aufgetauchten Bestrebungen, die Gesetze der Mechanik aus den Gleichungen für das elektromagnetische Feld abzuleiten, während man bis dahin stets umgekehrt die elektromagnetischen Gesetze auf die mechanischen zurückzuführen versucht hatte, zu neuen Einsichten führen könnten, an die man früher niemals gedacht hatte. — Dass die neuere Energetik zu wesentlich neuen Ergebnissen für die Mechanik führen sollte, ist zwar wenig wahrscheinlich, aber auch nicht ganz ausgeschlossen.

Freilich wird man sich einen wirklichen, durchschlagenden Erfolg von allen Bestrebungen dieser Art jedenfalls nur unter der Voraussetzung versprechen dürfen, dass es gelingen sollte, durch die Anleitung solcher theoretischen Betrachtungen den Weg zu neuen Beobachtungsthatsachen zu finden.

Alle diese Beispiele habe ich übrigens nicht etwa in der Absicht angeführt, grosse Umwälzungen in der Mechanik für eine nähere oder fernere Zukunft als wahrscheinlich in Aus-

sicht zu stellen. Ich wollte nur die vorher ausgesprochene Warnung gegen die weit verbreitete Anschauung näher begründen, wonach die Mechanik als eine für alle Zukunft in den wesentlichen Stücken abgeschlossene Wissenschaft anzusehen sei, der jede Möglichkeit einer späteren tiefgreifenden Weiterentwickelung von vornherein abgesprochen werden müsse. Und zur Begründung dieses Widerspruchs reichen die angeführten Beispiele jedenfalls aus.

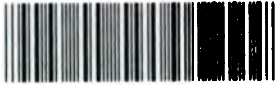
Was die Zukunft wirklich bringen wird, weiss ich natürlich nicht und ich enthalte mich darüber auch jeder bestimmten Vermutung. Meine Absicht geht nur dahin, vorgefassten Meinungen entgegen zu treten, indem ich zeige, dass auch Andere, die sich in dieser Hinsicht vielleicht sicherer in ihrem Urteile dünken, über die zukünftige Entwickelung der Mechanik auch nichts Bestimmtes wissen können.

Wenn einst, in abermals hundert Jahren, ein später Enkel Umschau halten wird über das, was die Männer des 20. Jahrhunderts auf dem Gebiete der Mechanik geleistet haben, möge ihm — wenn er auch wieder nicht über Entdeckungen ersten Ranges zu berichten haben sollte — doch ein nicht minder günstiges Urteil gestattet sein, als wir es heute über die Leistungen des 19. Jahrhunderts aussprechen können. Auch ohne grosse, glückliche Funde stehen der beharrlichen Arbeit noch manche schönen Erfolge in Aussicht, die die aufgewendete Mühe reichlich zu lohnen versprechen.

Wenn aber das Urteil über die Arbeit des 20. Jahrhunderts günstig lauten soll, so darf es auch in ihm nicht der Trieb nach materiellem Gewinn und persönlichem Vorteil oder nach Ruhm und Ansehen allein sein, der diese Arbeit beseelt; sondern weit mehr noch wird der Wahrheits-, der Erkenntnis- und Thätigkeitsdrang, verbunden mit zähem Fleiss, strenger Selbstkritik und reiner Forscherfreudigkeit die Triebfeder zu diesen Leistungen abgeben müssen.

Auf der akademischen Jugend beruhen unsere Hoffnungen für die Zukunft und nach meinen Erfahrungen als akademischer

Lehrer glaube ich, mit Zuversicht erwarten zu dürfen, dass sie sie nicht täuschen wird. Zwar kann es immer nur Wenigen beschieden sein, auf irgend einem bestimmten Gebiete die höchsten Ziele zu erreichen. Von Ihnen Allen aber, meine lieben Commilitonen, erwarten wir und das Vaterland, dass Sie nicht nur einzelne wissenschaftliche Lehren von der Hochschule ins Berufsleben mit hinaus nehmen, sondern dass Sie auch von dem Geiste erfüllt werden, der alle Wissenschaften durchdringt: von dem Geiste der Forschung, der in treuer selbstloser Hingabe sein Ziel unermüdlich und unerschrocken verfolgt und der in der Freude über das wohlgelungene Werk den schönsten Lohn für alle Mühe und Arbeit erblickt.


89080439755
B89080439755A

